

Письменный отзыв
официального рецензента Баканова Галитдина Бакановича на диссертационную работу Турарова Аманкельды Кабдыгалиевича
на тему «Численное решение многофазной динамической модели газлифтного процесса», представленную на соискание степени
доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05401 - «Математика»

№п/п	Критерии	Соответствие критериям (подчеркнуть один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента (замечания выделить курсивом)
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы) 2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы) 3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)	Результаты исследования, представленные в диссертационной работе, соответствуют основным направлениям развития науки. Тема диссертационного исследования соответствует приоритетному направлению «Интеллектуальный потенциал страны». Наименование специализированного научного направления: Фундаментальные и прикладные исследования в области математики, механики, астрономии, физики, химии, биологии, информатики и географии. Работа выполнена в рамках грантового финансирования по научным и научно-техническим проектам Комитета науки МНВО РК по темам: «Численное решение многофазной динамической модели газлифтного процесса». ИРН AR22683374 на 2024–2026 гг.
2.	Важность для науки	Работа вносит/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта	Диссертационная работа вносит существенный вклад в развитие численных методов решения прямых и обратных задач для многофазных динамических моделей газлифтного процесса. Предложены новые вариационные постановки, решение сопряженных задач, получены выражения для определения градиентов целевых функционалов, разработаны устойчивые и сходящиеся разностные схемы. Построены численные алгоритмы, сходимость которых подтверждена теоретически и численно. Теоретические результаты подкреплены численными экспериментами, выполненными с использованием реалистичных параметров, что демонстрирует применимость разработанных методов к задачам прикладного характера. Актуальность и значимость работы обоснованы как с научной точки зрения — развитием подходов оптимального управления и численного моделирования, — так и с практической — оптимизацией параметров газлифтной добычи нефти. Таким

			образом, выполненное исследование вносит как фундаментальный научный, так и инженерно-прикладной вклад в рассматриваемую область.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) Высокий ; 2) Средний; 3) Низкий; 4) Самостоятельности нет	Все этапы диссертационного исследования выполнены автором самостоятельно: разработаны численные методы, основанные на вариационной постановке и методе сопряжённых уравнений, проведена их программная реализация и последующий численный анализ. Работа выполнена последовательно и методически обоснованно, с учётом специфики моделируемого процесса, что свидетельствует об оригинальности подхода и высокой научной значимости полученных результатов.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) Обоснована ; 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	Диссертация посвящена актуальной научной проблеме — численному моделированию многофазного газлифтного процесса, который является одной из ключевых задач в современной нефтедобыче. В работе автором разработаны численные методы решения прямой и обратной задач, включая строгую вариационную постановку и метод сопряженных уравнений, что существенно расширяет теоретический потенциал решения обратных задач и вычислительной гидродинамики. Актуальность и значимость исследования подчеркнуты как с научной точки зрения через подробный анализ литературы и теоретическое обоснование подходов, так и с прикладной через возможность практического применения результатов для оптимизации параметров работы скважин.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) Отражает ; 2) Частично отражает; 3) Не отражает	Содержание диссертационной работы полно отражает её тему, сформулированные цели и задачи, а также основные положения, выносимые на защиту. Представленный материал изложен последовательно и логично, все результаты и выводы внутренне согласованы и соответствуют общей тематике исследования.
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) соответствуют ; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют	Цели и задачи диссертационной работы соответствуют выбранной теме исследования, полностью отражают её содержание и освещают ключевые аспекты работы.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) полностью взаимосвязаны ; 2) взаимосвязь частичная;	Все разделы и положения диссертации логично взаимосвязаны и выстроены в чёткую структуру, что отражается в последовательной подаче полученных научных результатов.

		3) взаимосвязь отсутствует	
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) <u>критический анализ есть</u> ; 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов; 4) анализ отсутствует.	В диссертационной работе проведён всесторонний критический анализ существующих методов решения прямых и обратных задач, применяемых для моделирования газлифтного процесса. Рассмотрены и проанализированы как отечественные, так и зарубежные исследования в данной области. На основе выявленных ограничений и недостатков обоснована необходимость разработки новых численных алгоритмов, более адаптированных к особенностям многозонной осесимметричной модели.
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) <u>полностью новые</u> ; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Все основные результаты, представленные в диссертации, обладают научной новизной и обоснованы строгими математическими доказательствами. При их получении автор использовал как известные методы, так и собственные оригинальные разработки, созданные в ходе проведённого исследования.
		5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) <u>полностью новые</u> ; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Выводы диссертации являются полностью новыми, поскольку: – впервые предложена численно реализуемая вариационная постановка обратной задачи для линейных уравнений Навье–Стокса сжимаемого газа, применительно к модели газлифтного процесса; – построена сопряжённая ретроспективная задача и выведены формулы для определения градиентов целевого функционала, что ранее не использовалось в контексте данной модели с разрывными коэффициентами. Эти положения подтверждены теоретическим анализом, численными экспериментами и опубликованы в научных статьях. Поэтому выводы можно обоснованно отнести к полностью новым.
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) <u>полностью новые</u> ; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Диссертация содержит ряд технических и технологических разработок, связанных с построением и реализацией численных моделей газлифтного процесса. Новизна: – Предложена конечно-разностная схема решения прямой и сопряжённой ретроспективной задачи, возникающей при минимизации функционала в обратной задаче для линейных уравнений Навье–Стокса, моделирующего газлифтный процесс. Доказана устойчивость и сходимость разностной схемы. – Разработан алгоритм численной реализации градиентного метода для обратной задачи газлифтного

			процесса, в которой минимизируется функционал при дополнительных условиях на решение и ее производные при конечном времени. Сопряжённая задача построена с помощью тождества Лагранжа и содержит ценные сведения о решении прямой задачи. – Установлена связь между решением сопряжённой задачи и градиентом функционала, что позволило эффективно реализовать метод сопряжённых уравнений в ретроспективной постановке. – Проведены численные эксперименты, демонстрирующие возможность восстановления начальных условий (давления и расхода) по известным значениям на конечном временном слое, что подтверждает применимость вариационной постановки обратной задачи. Предложенный метод показал эффективность в определении производственных характеристик газлифтной скважины, что имеет важное прикладное значение при проектировании и управлении режимами эксплуатации нефтяных месторождений.
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы <u>основаны</u>/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (куолитатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	В диссертации представлены строго обоснованные математические модели, вариационные постановки, сопряжённые задачи, а также теоремы о сходимости и устойчивости построенных численных схем. Все теоретические утверждения подтверждены доказательством (с использованием методов функционального анализа, вариационного исчисления, теории разностных схем), либо результатами численных экспериментов, наглядно демонстрирующих сходимость, точность и эффективность предложенных методов. Это обеспечивает математическую строгость и достоверность всех основных выводов работы.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано</u>; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно.	7.1 Приведён полный алгоритм реализации, вывод градиента целого функционала, доказана теорема о сходимости. Проведены эксперименты с визуализацией и сравнением с заданными функциями.

		7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <u>нет</u> 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно.	7.2 Основаны на комплексной реализации разностных схем модели.
		7.3 Является ли новым? 1) <u>да</u> ; 2) нет 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно.	7.3 Алгоритм разработан и адаптирован на примере модели газлифтного процесса.
		7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u> 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.	7.4 Используемые методы применимы к широкому классу задач.
		7.5 Доказано ли в статье? 1) <u>да</u> ; 2) нет 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	7.5 Положение раскрыто и доказано в статьях, опубликованных в рецензируемых изданиях. Все приведенные результаты диссертации опубликованы в 8 статьях, из них: 3 статьи – в зарубежных журналах, входящих в базу данных WoS, Scopus; 5 статей – в периодических изданиях, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК.
8.	Принцип достоверности Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана 1) <u>да</u> ; 2) нет	В работе подробно обоснован выбор методологии: автор последовательно применяет методы вариационного исчисления, оптимального управления, метод сопряжённых уравнений и градиентный итерационный метод для решения обратных задач. Приведены выводы вариационной постановки, сопряжённых задач, теоремы о сходимости, а также построены и исследованы конечно-разностные схемы. Методология не только теоретически обоснована, но и реализована численно, что подтверждено численными результатами моделирования. Все этапы диссертационного исследования выполнены с использованием современных методов научного анализа: вычислительной математики, методов оптимального управления, вариационного метода, построения и анализа разностных схем. Для обработки и интерпретации данных использованы современные вычислительные технологии и
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: 1) <u>да</u> ; 2) нет	

			программная реализация на языке Python (версия 3.13.2) с применением библиотек для научных расчётов и визуализации. Результаты интерпретированы с помощью графиков, 3D-визуализаций и сравнительного анализа, что соответствует современному уровню научных исследований.
		8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента): 1) <u>да</u> ; 2) нет	Теоретические выводы, включая вариационную постановку, сопряжённую задачу, формулы для градиента функционала и условия сходимости градиентного метода, строго выведены и математически обоснованы. Эти положения подтверждены численными экспериментами, проведёнными в различных постановках (одномерная, двумерная, осесимметричная модель), с анализом сходимости, устойчивости и точности. Представлены графики сходимости функционала, профили давления и расхода, подтверждающие эффективность предложенных моделей и методов. Таким образом, взаимосвязи и закономерности подтверждены не только теоретически, но и вычислительным экспериментом.
		8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу	В диссертационной работе приведены ссылки на широкий круг авторитетных и актуальных источников, охватывающих как классические труды (J.L. Lions, Г.И. Марчук, С.К. Годунов, В.Н. Монахов, С.И. Кабанихин), так и современные исследования по моделированию газлифтного процесса, методам оптимального управления, численным схемам и решению обратных задач. Особое внимание уделено публикациям в международных рецензируемых журналах, индексируемых в ведущих наукометрических базах данных. Библиография включает как фундаментальные теоретические источники, так и прикладные работы, а также публикации самого автора и его научных руководителей, что отражает преемственность и оригинальность проведённого исследования. Обоснования и выводы, представленные в диссертации, подтверждены опорой на актуальный научный контекст и надёжную литературную базу, что придаёт работе высокую степень научной достоверности и обоснованности.
		8.5 Используемые источники литературы <u>достаточны</u> /не достаточны для литературного обзора	В диссертации представлен обширный и разносторонний литературный обзор, включающий более 70 источников, среди которых - работы отечественных и зарубежных авторов, охватывающие фундаментальные труды по уравнениям Навье–Стокса, методам оптимального управления, сопряжённым задачам, моделированию газлифтных процессов, численным

			схемам и применению современных вычислительных методов. Включены как классические источники, так и актуальные публикации последних лет (вплоть до 2024–2025 гг.). Обзор литературы отражает текущее состояние научной области и служит надёжной основой для выбора методологии и постановки задач.
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) <u>да</u>; 2) нет 9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u>; 2) нет 9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Диссертация имеет теоретическое значение, поскольку в ней разработаны и обоснованы математические модели прямой и обратной задачи газлифтного процесса на основе уравнений динамики многофазной среды. Предложены вариационная формулировка обратной задачи и метод сопряжённых уравнений, получены аналитические выражения для градиента функционала и доказана сходимость градиентного метода. Проведён анализ аппроксимации, устойчивости и сходимости разностных схем. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем для теоретического обоснования новых методов численного анализа и оптимального управления в задачах нефтедобычи. Диссертация имеет практическое значение, так как разработанные численные алгоритмы и программные реализации позволяют моделировать реальный газлифтный процесс добычи нефти с учётом параметров среды и начальных условий. В частности, предложенные методы позволяют восстанавливать начальное давление и объемный расход газа. Высокая вероятность применения результатов подтверждается актуальностью задачи в нефтегазовой промышленности и возможностью внедрения разработанного программного обеспечения в инженерную практику. В работе предлагаются численные методы и алгоритмы, основанные на известных методах (например, метод сопряжённых уравнений, градиентный метод), но в контексте моделирования газлифтного процесса они адаптированы, уточнены и реализованы с учётом специфики сложной геометрии и параметров реальной среды. Существенным вкладом является построение новой вариационной постановки обратной задачи и разработка программной реализации.

10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Текст диссертации написан в научном стиле, с соблюдением норм академического письма. Структура работы логична и последовательна, все определения, утверждения, теоремы и выводы изложены ясно и аргументированно. Терминология используется корректно, ссылки на научные источники приведены в надлежащем виде. Оформление таблиц, рисунков и формул соответствует требованиям. Таким образом, качество академического письма можно оценить как высокое.
11.	Замечания к диссертации	В диссертации встречаются единичные опечатки и редакционные неточности, не влияющие на содержание и научную значимость работы.	
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	Публикационная активность докторанта свидетельствует о высоком научном уровне выполненного исследования. По теме диссертации опубликован ряд статей в рецензируемых научных изданиях, включая журналы, индексируемые в международных базах данных Scopus и Web of Science. Эти публикации отражают основные результаты исследования, выполненного на современном теоретико-численном уровне, и демонстрируют научную зрелость автора. К числу значимых зарубежных публикаций относятся: – статья в журнале Applied System Innovation (WoS Q2, Scopus 96%), в которой представлен численный подход к решению прямой и обратной задачи газлифтного процесса на основе метода сопряжённых уравнений; – работа в SOCAR Proceedings (Scopus 68%), посвящённая применению методов оптимального управления в моделировании газлифтной добычи нефти; – публикация в TWMS Journal of Pure and Applied Mathematics (WoS Q1), где рассмотрен численно-аналитический метод решения квазилинейных уравнений первого порядка. Кроме того, исследования докторанта широко представлены в отечественных академических журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки РК (КОКСНВО МНВО РК), таких как Вестник НИА РК, Известия НАН РК, Bulletin of the Karaganda University (Scopus 53%), а также Вестник КазНПУ имени Абая. Серия: Физико-математические науки. В этих работах раскрываются ключевые положения диссертации: построение вариационной модели, формулировка сопряжённой задачи, разработка и реализация численного алгоритма, анализ устойчивости и сходимости предложенного метода. Научные статьи сопровождаются строгими математическими выкладками, формулами, схемами, результатами численного моделирования и визуализацией, что свидетельствует не только о глубине исследования, но и о высоком методическом уровне представленных результатов. Таким образом, публикации охватывают весь спектр научных аспектов диссертационной работы и подтверждают её актуальность, новизну и научную ценность. Список публикаций в зарубежных журналах, входящих в базу данных WoS, Scopus: 1. Temirbekov N.M., Turarov A.K., Kasenov S.E. // Numerical Solution of the Direct and Inverse Problems in the Gas Lift Process of Oil Production Using the Conjugate Equations Method. Applied System Innovation. - 2025. - Vol. 8, No. 2. DOI: 10.3390/asi8020047 (WoS Q2, Scopus 96%). 2. Aliev F.A., Aliev N.A., Hasanov K.G., Guliev A.P., Turarov A.K., Isaeva G.V. Numerical-analytical method for solving of the first order partial quasi-linear equations // TWMS Journal of Pure and Applied Mathematics, Vol. 6, No. 2, 2015. - P.158-164 (WoS Q1).	

		3. Temirbekov N.M., Turarov A.K., Aliev F.A., Temirbekov A. N. Solution of the direct and inverse problem of gas lift oil production process by the optimal control method. SOCAR Proceedings, No.2, – 2025. – pp. 104-116. DOI: 10.5510/OGP20250101037 (Scopus 68%). Список публикаций в периодических изданиях, рекомендованных КОКШВО МНВО РК: 1. Temirbekov N.M., Turarov A.K. Variational method of numerical solution of the inverse problem of gas lift oil production process. Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. № 2(118) 2025. - pp 222-240 (Scopus 53%). 2. Жумагулов Б.Т., Тураров А.К., Темирбеков Н.М. Численное моделирование газлифтного процесса добычи нефти оптимизационными методами. Вестник НИА РК. - 2025. - Т. 95, No. 1. - С. 216–236. DOI: 10.47533/2025.1606-146X.22 3. Жумагулов Б.Т., Темирбеков Н.М., Тураров А.К., Касенов С.Е., Темирбекова А.М. Вариационный метод численного решения обратной задачи газлифтного процесса добычи нефти. Вестник НИА РК. - 2025. - Т. 96, No. 2. - С. 137–162. DOI: 10.47533/2025.1606-146X.2-10 4. Темирбеков Н.М., Тураров А.К., Алиев Ф.А. Численное решение прямой и обратной задачи газлифтного процесса добычи нефти методом сопряженных уравнений Вестник КазНПУ имени Абая. Серия: Физико-математические науки. 2025. -Т. 90, No.2, DOI: 10.51889/2959-5894.2025.90.2.013. 5. Темирбеков Н.М., Тураров А.К. Численное решение одномерной модели газлифтного процесса. Известия национальной академии наук республики казахстан. Серия физико-математическая. № 2 (306). 2016г. – С. 159-168. Во всех статьях отражены ключевые научные результаты диссертации: построение вариационной модели, вывод сопряжённой задачи, разработка численного алгоритма и анализ сходимости. Публикации сопровождаются теоретическими выкладками, формулами, схемами и графиками, что указывает на высокий научный и методический уровень.
13.	Решение официального рецензента	Представленная диссертация Турарова Аманкельды Кабдыгалиевича на тему «Численное решение многофазной динамической модели газлифтного процесса», представленная на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05401 – «Математика», является завершённым научно-квалификационным трудом. Работа сочетает строгую математическую постановку задачи, доказательство сходимости и оценок, а также разработку численных алгоритмов с последующей реализацией и наглядной визуализацией полученных результатов, что подчёркивает её прикладной потенциал. Представленное исследование отличается научной новизной, актуальностью, высоким уровнем теоретической и практической значимости. Все ключевые положения и выводы тщательно обоснованы и подтверждены вычислительными экспериментами. Представленная диссертационная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D05401 – Математика», а её автор заслуживает присуждение степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D05401 – Математика».

Официальный рецензент:

**доктор физико-математических наук,
профессор Международного казахско-турецкого
университета имени Ходжи Ахмеда Ясави.**



[Handwritten signature]
 А.А. Ясауи атындағы
 Халықаралық қазақ-түрік
 университеті
 Адам ресурстарын басқару
 бөлімінің бастығы



Баканов Г.Б.